

花蓮縣第 63 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科別：生活與應用科學科（一）

組別：國民中學 B 組

作品名稱：探討六角與四角結構抗震之差異性

關鍵詞：六角、結構、抗震

編號：

作品名稱

探討六角與四角結構抗震之差異性

摘要

用保麗龍為材料，建立同樣乘載面積的正六角柱以及四角柱，以拉扯頂部造成水平位移量為地震時的搖晃，自拉扯釋放後測量晃動至模型平衡不晃動的時間，同時觀測在哪一距離或次數造成模型的結構損壞。普遍數據上顯示六角比四角的晃動時間較短，且時間長短都較一致，且減震能力及耐震能力也比四角較高。

壹、前言

一、研究動機

有一天，我們去爬山，看見了小蜂窩，觀察其整齊且規則的正六角形，聯想到我們所處的國家及縣市—臺灣地處環太平洋火山帶，花蓮又位在歐亞板塊及菲律賓海板塊的交界帶，因此地殼活動頻繁，多地震，且規模較大的地震也不在少數，而對我們最有印象的莫過於在 2018 年 2 月 6 日的花蓮地震，其震央就位於花蓮縣近海，芮氏規模 6.2，震源深度 6.3 公里，主震前後曾發生多次芮氏規模 5 以上之強震，造成花蓮市的統帥大飯店倒塌、遠東百貨花蓮店舊址大樓結構受損，多名遊客、住民罹難，估計災害損失達新臺幣 9,879 萬。

倘若當時花蓮的房屋抗震能力更加優秀，對於抗震就會有極大的幫助，不只是減少損失，更能拯救許多寶貴的性命，因此我們想做這個研究去證實蜂窩的六角形結構比傳統房屋的四角結構來得更加堅固，而在建築物上是否能成為較好的抗震結構，那麼應用於建築之後就能有效減少傷亡，是以此事件成為本研究的研究動機。

二、研究目的

- (一) 瞭解蜂巢所使用的六角形結構的原理。
- (二) 分析蜂巢所使用的六角型結構與常見的四角型結構耐震程度之差異。
- (三) 解決研究過程中所遇之困難。
- (四) 以蜂巢所使用的六角型結構改良花東地震帶房屋的具體作法。

三、文獻回顧

(一) 環太平洋火山地震帶 (Ring of Fire) 的地理特性

環太平洋火山地震帶是全球分佈最廣、地震最多的地震帶，所釋放的能量約佔全球的四分之三。環太平洋地震帶分佈在太平洋周圍，包括南北美洲太平洋沿岸和從阿留申群島、堪察加半島、日本列島南下至我國台灣省，再經菲律賓群島轉向東南，直到新西蘭。

環太平洋火山地震帶是三大地震帶之一。三大地震帶分別是歐亞地震帶、海嶺地震帶和環太平洋火山地震帶。環太平洋火山地震帶全長四萬公里，有 452 座火山，範圍橫跨太平洋邊緣，有時也被稱為「環火帶」。世界上約 80% 的淺層地震（震源深度小於 70 公里、90% 的中層地震（震源深度介於 70 公里和 300 公里之間和幾乎所有的深層地震（震源深度大於 300 公里）都發生在這個地震帶上。環太平洋火山地震帶是由板塊的移動與碰撞。台灣位於環太平洋火山地震帶，地震繁多，也會出現一些具有破壞力的大地震，所以房屋的耐震度對位於環太平洋火山地震帶上的國家很重要。

(二) 四角形結構 (QuadrilateraArchitecture) 與六角形結構 (HexagonalArchitecture) 的特性和耐震度的差別

不規則的形狀，不僅耐震度差，消耗材料需要運用的很多，以多邊形來說四角型和六角型，耐震震度較好。

馮致文 (2013) 指出，正六邊形的建築可以對來自各方面的搖晃都有抵禦。

賴加翌 (2018) 指出，六角型為最有效率的形狀，正六角形結構除了節省材料、容積最大以外，以力學角度來看，它的結構各方受力大小均等，結構最緻密。

鋪磚的工人有許多的選擇，包括三角形、正方形、五角形、六角形、七角形、八角形等等，只有三角形、正方形和六角形可以鋪滿一個平面而不留下空間，以上這三種選擇裡，如果以一百平方公分的面積來算，三角形磁磚的周長是四十五公分，正方形的磁磚周長是四十公分，六角形磁磚的周長是三十七公

分。也就是說，六角形是最有效率的正多邊形。

古希臘數學家就證明出以下兩點：(1) 所有周長固定的 N 邊形，以正 N 邊形的面積最大，而且 N 越大面積就越大。(2) 當周長固定時，圓的面積大於所有正多邊形。所以我們知道在相同面積的所有幾何形狀中，圓形的周長最短。但圓形無法鋪滿一塊地。

(三) 建築結構與耐震程度的關係

越高的房子越容易倒塌，如要設計出可運用在都市更新的房子，必須考慮房子的材料、形狀和構造，這些都和房子的耐震有巨大的關聯。在都市更新的運用上，除了考慮耐震的問題外還要考慮房屋的創新。經過科學研究指出，六角型不管在耐震度上或是材料的節省。都是最優秀的多邊形，地震越來越頻繁和物價通膨的時代，這種結構可以在建築、工程等領域中被廣泛使用，因為它具有許多優點。

台灣位於環太平洋地震帶上，結構以鋼筋及混凝土作為建築材料較適合台灣的建築，也是台灣業界最純熟的技術工法，適合於興建 15 樓以下的中低層建築。

抗震結構可以採用主體框架即柱子、房梁、牆體的強度和硬度來抵禦地震，較高的房子也可以設計阻尼裝置吸收地震能量其中。目前有一種柱中柱結構，它可以加強柱子強度。在地震時，倒塌的房屋主要是因樑柱斷裂，所以加強柱子可以讓房屋更耐震。調配水泥的磅數也可以讓房屋更堅固。連棟的房屋也更堅固，「就好比一捆筷子比起一支筷子更難折斷。」

以參考文獻為輔，設計一個以樑、柱或面的模型，並一個以正方形為底面、另一則以正六邊形為底面；並且設計能夠達到模擬地震的方式，研究如何建模、兩種模型受震時的不同影響以及若以六角結構作為房屋的可行性及問題。

貳、 研究設備及器材

一、建立模型：保麗龍、尺、保麗龍膠、保麗龍切割器

二、地震模擬測試：捲尺、碼表、相機

參、 研究過程或方法

一、研究過程

(一) 實驗初稿

實驗一開始的構想是用水泥來做模型，想接近真實的房屋，並放置在地震模擬器上晃，再觀察其破損程度。因為我們想改良花東地震帶房屋倒塌、破損率，甚至擴及全臺灣的房屋。但我們使用的模具是紙板，紙板會吸水而變軟、破損造成模型歪斜而不準確，就算我們用了冰棒棍和膠帶固定也是一樣，且水泥在地震模擬器上晃動不會造成破壞或傾倒。

(二) 實驗修正

在和結構技師的訪談中，他建議可以試用保麗龍來當做模型的材料，因為此材料較水泥來說更容易測試和製作，因此我們的實驗就改以保麗龍來當做模型。

但我們遇到了一個問題，就是實驗應該如何模擬出地震，而我們有諸多的方案：

1. 以第 32 屆〈”地牛翻身”——簡易地震模擬器與感應器的製作及操作〉製作地震模擬器。
2. 以 4 張桌子製造一個空間，並用 4 條橡皮筋鍊拉住，再將模型放上去。
3. 以橡皮筋拉長後釋放地基與模型。
4. 以手拉動模具。最終在考慮可行性之後，便決定用手拉模具的距離並記錄晃動時間。

二、研究方法

本研究在探討地震對六角形結構的影響，希望能透過此研究探討最適合耐震的房屋結構，並達到都市更新的效果。

此部分將針對研究對象、研究設計、研究流程三個小節分別敘述說明。

(一) 研究對象

本研究以六角型結構和一般四角型結構為研究對象，分成兩組，一組為六

角型建築作為實驗組，四角型結構作為對照組，每組使用相同乘載面積的材料與樓層高度，做為本研究的控制變因。

本研究的晤談對象為建築設計師以及結構技師，希望藉由專業人士的訪談，了解更多與建築結構和房屋抗震的相關知識，並運用到本研究的設計中。

(二) 研究設計

本研究以不同建築結構為樣本進行研究，比較兩個建築結構在經過手拉的位移量之後釋放，並測量釋放至平衡不動的晃動時間。實驗的操作變因為「不同的建築結構」；控制變因包含建物樓層數、建材數量以及地震強度；應變變應為建材「破損度」與「地震後建物搖晃時間」。

(三) 研究流程（如圖 1）

1. 製作出底面外邊長為 15 公分的六角型，高度為 94 公分；以及底面外邊長為 24.2 公分的正方形，高度為 94 公分。
2. 使用捲尺量測模型頂部水平位移量，釋放後用碼錶紀錄晃動時間。
3. 總結實驗結果，做出表格。

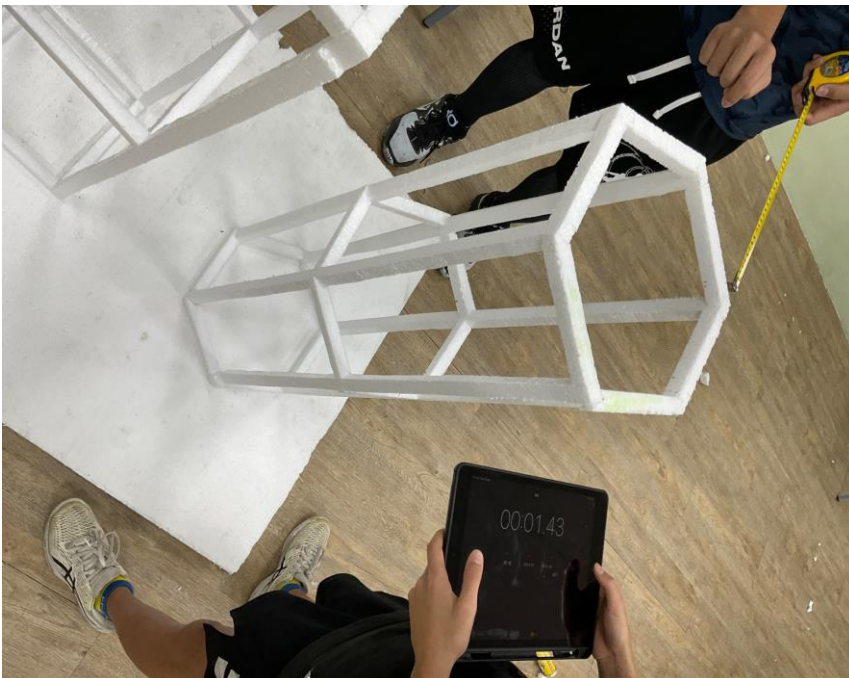


圖 1、研究流程示意圖

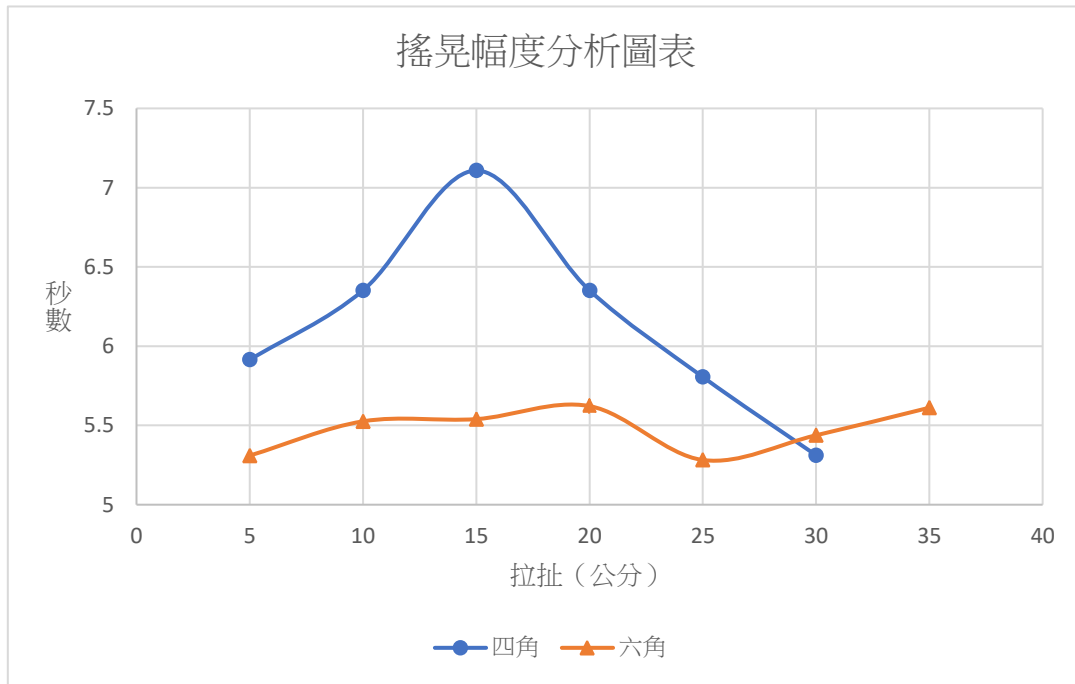
肆、 研究結果

四角	1	2	3	4	5	平均
5	6.13	5.79	5.93	5.91	5.81	5.914
10	6.36	6.51	6.73	6.08	6.08	6.352
15	7.09	8.11	6.33	6.58	7.43	7.108
20	5.94	6.29	5.79	5.98	5.23	5.806
25	5.94	6.29	5.79	5.78	5.23	5.806
30	5.26	5.38	5.58	5.28	5.06	5.312
35	4.81	X	X	X	X	
	X：模型損壞					

表 1、四角結構受應力回復表

六角	1	2	3	4	5	平均
5	5.44	5.19	5.70	4.58	5.64	5.31
10	5.65	5.73	5.46	5.31	5.48	5.526
15	5.63	4.75	5.99	5.80	5.53	5.540
20	6.00	5.61	6.00	5.05	5.45	5.622
25	5.79	5.25	4.99	5.24	5.14	5.282
30	6.05	5.35	5.26	5.03	5.50	5.438
35	5.66	5.65	5.53	5.49	5.73	5.612
40	5.18	5.36	4.51	X	X	
	X：模型損壞					

表 2、六角結構受應力回復表



伍、 討論

減震能力：或避震，主要的作用為吸收和過濾震動；可由時間長短來相比減振能力。

耐震能力：受應力的強度以及耐久度多寡；可由拉扯水平位移量相比受應力的強度，並由實驗自 5 公分拉扯至破壞前的施作次數相比耐久度。

一、搖晃時間長短：六角形的搖晃時間大多都比四角形短，這顯示六角結構在恢復能力或抗震中的減震能力較四角形好；在位移 30 公分時，出現了相反的情況，雖相比臺灣史上造成明顯地表破裂的地震來說，如 921 集集地震、206 花蓮地震及 918 台東地震，位移 30 公分有些小巫見大巫，但實驗中六角結構上在抗震中的耐震能力較四角形好，能在強度以及耐久度上維持結構性而不破裂。

二、搖晃時間長短與拉扯公分數的關係：我們發現搖晃程度隨著拉扯公分上升會先上升再緩慢下降，這個結果在我們的意料之外。我們本以為晃動時間會隨著拉扯公分數而增加，但六角結構的曲線來看，推測搖晃時間和水平位移量可能會呈現波動性的關係。

三、模型受拉扯程度：四角形結構在拉扯到 35 公分第二次時出現明顯的毀損了，位於中間樑和柱的連接面（如圖 2）；而六角型結構則是在四十公分時才有明顯的毀損，位於應力對角線的底面和柱的連接面（如圖 3）。



圖 2、四腳結構破損



圖 3、六角結構破損

陸、 結論

綜合以上論述，六角形結構受拉扯程度所造成搖晃的時間長短較四角形結構的短。並且在實驗中以保麗龍為結構材料六角形結構比起四角形結構可多拉距離五公分才有結構上明顯的損壞。

晃動時間不會隨著拉扯公分數增加推測是因為擺動週期造成的，或是震波在來回時被抵銷而造成這個結果。

這些實驗結果足以表明六角型在房屋的結構較傳統四角形來得能抵抗地震與外力，可能可以用於都市更新和老舊房屋的改建，讓房屋在有外力和地震時減少倒塌機率，以達到本次實驗的目的。

柒、 參考文獻資料

天搖地動～耐震屋研究（2021）· 第 61 屆全國中小學科展，國小組地球科學科

賴加翌（2018）· *最有效率的形狀*· CASE 報科學· 取自 <https://case.ntu.edu.tw/blog/?p=33196>

逢致文（2013）· *防震蜂巢基礎結構*· 中華人民共和國國家知識產權局· 取自 <https://patents.google.com/patent/CN104514281A/zh>